DEMOGRAPHIE ET PRODUCTIVITE

Evelyne Lapierre-Adamcyk
Pierre Lasserre
Pierre Ouellette

Université de Montréal

90-01570/

Evelyne Lapierre-Adamcyk[1]
Pierre Lasserre[2]
et Pierre Ouellette[2]

DEMOGRAPHIE ET PRODUCTIVITE

I - Introduction

Les relations entre l'évolution démographique et la croissance économique restent encore mal connues et ni les économistes, ni les démographes ne peuvent répondre de façon certaine à la question suivante: la stagnation démographique, voire la décroissance, peut-elle entraîner la stagnation économique? En d'autres termes, peut-on croire que le niveau de vie d'une population peut se maintenir au moment où elle s'engage dans un processus qui réduit ses effectifs?

La recherche sur la question de la décroissance s'amorce à peine dans les pays occidentaux où les exemples empiriques de décroissance soutenue sont à peu près inexistants. Les travaux des économistes démographes se sont attachés au cours des années 1970 à examiner l'effet du ralentissement de la décroissance démographique et ils concluent en général à un effet positif de cette évolution (Espenshade et Serow, 1978).

Pour mieux comprendre les relations entre l'économie et l'évolution démographique, il semble opportun de centrer l'attention sur des questions plus limitées et de tenter de les approfondir. C'est ce que nous avons tenté dans ce projet qui vise à examiner les mécanismes sous-jacents aux variations de la productivité. L'originalité de la démarche se caractérise par l'introduction dans un modèle économique de facteurs socio-démographiques. Etant donné la croissance des préoccupations des dirigeants politiques en ce qui concerne les conséquences de l'évolution de la population canadienne, il apparaît souhaitable que l'analyse économique tienne davantage compte des facteurs démographiques et les intègre dans ces modèles.

Les résultats obtenus, bien que de portée limitée étant donné la disponibilité des données et la durée de l'analyse, sont fort intéressants et convaincront le lecteur de l'opportunité de développer la recherche qui amène démographes et économistes à joindre leurs outils et leur connaissances pour mieux comprendre la réalité.

II - Le modèle

II.1. Cadre de référence

Rappelons les hypothèses de recherche et objectifs. Le progrès technique joue un rôle fondamental dans la croissance du revenu per capita; l'influence des facteurs démographiques sur le progrès technique reste méconnue. Il s'agit d'étudier ce lien entre la démographie et le progrès technique, qui lui-même se manifeste par des gains de productivité.

Nous formulons donc un modèle qui constitue une représentation de la technologie et où sont incorporés, sous la forme de paramètres quantifiables, les hypothèses les plus prometteuses et les plus crédibles concernant les mécanismes par lesquels la démographie affecte l'évolution de la productivité. Ces hypothèses, tirées de la littérature économique essentiellement, peuvent être classées dans deux grandes catégories, choisies compte tenu de la représentation de la technologie que nous avons retenue et qui, depuis que Solow (1957) l'a proposée aux fins d'étude du progrès technique, est d'ailleurs de loin la plus répandue. Elle consiste à postuler que la production d'une firme, d'un secteur ou, comme dans notre cas, de l'économie dans son ensemble, est déterminée par une *fonction de production*, dont les arguments sont les inputs du processus de production (facteurs de production). Il y a progrès technologique et gain de produc-

tivité lorsque l'efficacité d'un ou de plusieurs facteurs de production (main-d'oeuvre, capital) s'améliore - c'est la justification de la première catégorie - et (ou) lorsque la fonction de production elle-même se modifie, c'est-à-dire lorsqu'à une quantité inchangée d'inputs correspond une production plus élevée qu'auparavant - c'est la justification de la deuxième catégorie.

Les hypothèses de la première catégorie portent donc sur les changements qualitatifs qui interviennent dans la main-d'oeuvre active à l'occasion de changements démographiques. Deux phénomènes essentiels se produisent. D'une part, la formation de la main-d'oeuvre active a tendance à s'améliorer par suite d'une baisse de la natalité parce que les ressources, que peuvent consacrer à chaque enfant ses parents et la société dans son ensemble, sont plus élevées s'il y a peu d'enfants que s'il y en a beaucoup. Les décisions concernant le niveau d'éducation et, notamment le rôle qu'y jouent les facteurs démographiques et économiques, constituent depuis déjà longtemps un champ de recherche très actif en économie. Les idées de Becker (1957), visant à expliquer par des considérations économiques un grand nombre de comportements sociaux et de comportements individuels considérés jusqu'alors comme relevant de la psychologie ou de la sociologie, ont beaucoup influencé ce champ de recherche mais n'y ont pas cependant l'exclusivité. A cet égard, Lazear (1980) et Catsiapis (1987), donnent une bonne description des mécanismes du choix d'un niveau d'éducation et des paramètres et phénomènes les affectant. Par ailleurs, en dehors des décisions concernant le niveau d'éducation, ces phénomènes affectent la structure par âge de la main-d'oeuvre active. Comme, d'une part, le niveau d'éducation moyen n'est pas le même pour toutes les catégories d'âge, et comme, d'autre part, l'expérience varie avec l'âge et affecte la productivité, l'efficacité

productive de la main-d'oeuvre peut donc se modifier avec sa structure démographique. Il y a donc dans cette première catégorie deux hypothèses à tester et à quantifier: la démographie affecte la productivité parce qu'elle affecte le niveau d'éducation choisi par les gens, lequel affecte leur efficacité productive; la démographie affecte la productivité parce qu'elle affecte la structure par âge de la main-d'oeuvre active et que l'efficacité productive des gens n'est pas la même à tous les âges.

La deuxième catégorie d'hypothèses portent sur des innovations technologiques qui ne constituent pas des changements dans l'efficience de la main-d'oeuvre, mais qui améliorent d'une manière ou d'une autre l'efficacité de l'ensemble des facteurs de production : découverte de nouveaux procédés, introduction de nouvelles technologies ou méthodes de gestion, par exemple. Une hypothèse fréquemment avancée est que la présence d'une forte proportion de jeunes dans une société favorise innovation et créativité. Par contre une société avec beaucoup d'enfants consacre une plus forte proportion de ses activités à ces enfants, ce qui peut avoir un effet négatif temporaire sur la productivité. D'autres hypothèses fondamentales sur le progrès technique peuvent facilement s'interpréter d'un point de vue démographique. Ainsi l'hypothèse du biais induit (Hicks, 1932) veut que les entrepreneurs orientent le progrès technique dans le but de réduire leurs coûts et tiennent donc compte de la rareté relative des facteurs de production dans leurs décisions. Bien entendu, une baisse démographique rend économiquement plus rare le facteur main-d'oeuvre.

II.2. Formalisation

Le choix des facteurs de production. Il y a des centaines de facteurs de production. Ils sont en général agrégés en catégories plus ou moins homogènes: Main-d'oeuvre, capital, énergie, matériaux et fournitu-

res pour prendre comme exemple les catégories pour lesquelles Statistique Canada produit des séries chiffrées. Lorsqu'on travaille au niveau agrégé, comme c'est le cas ici, on ne retient normalement que deux de ces facteurs, *le capital K et la main-d'oeuvre L.* En effet l'énergie et les matériaux utilisés par tel secteur doivent être produits par un ou plusieurs autres secteurs; au niveau agrégé, pour ces biens intermédiaires, il faut bien que la somme des produits soit égale à la somme des inputs, si bien qu'ils disparaissent en temps qu'input pour l'économie dans son ensemble.

Les fonctions de coût. La représentation de la technologie mentionnée plus haut, dans laquelle des inputs sont combinés pour produire un output, peut se faire à partir d'une fonction de production (c'est l'approche primale), ou à partir d'une fonction de coût (c'est l'approche duale). C'est cette dernière méthode que nous utilisons. Une fonction de coût donne la dépense en facteurs de production nécessaire pour produire une quantité donnée, compte tenu des prix des facteurs de production.

La fonction de coût total dépend donc de la quantité totale produite Y, et des prix de K, r, et de L, w. En outre, selon l'argumentation donnée plus haut concernant le progrès technologique, ce dernier modifie peu à peu l'efficience des facteurs de production. Comme ce phénomène équivaut à une baisse progressive du coût d'une unité d'efficience, on prend en compte ce phénomène en appliquant à r et w des coefficients correcteurs ϕ et ρ, qui eux-mêmes évoluent en fonction des variables qui déterminent le progrès technologique, variables démographiques notamment, comme nous l'avons indiqué plus haut. Par ailleurs, toujours conformément à ce qui vient d'être dit plus haut (deuxième catégorie d'hypothèses), il existe également un phénomène de progrès technologique par lequel la

fonction de coût total se modifie dans le temps en fonction de variables reflètant notamment la rareté relative des facteurs de production et les capacités d'innovation de la société, et qui seront définies en détails plus bas. Pour prendre en compte ce phénomène, on ajoute aux arguments de la fonction de coût total le vecteur B des variables déterminant cette forme de progrès technologique. La fonction de coût total est donc

$$CT(Y, \phi r, \rho w, B)$$

Diverses modifications doivent encore lui être apportées.

Tout d'abord, au niveau de l'ensemble de l'économie, CT représente la dépense nationale nette, c'est-à-dire ce qui est dépensé pour produire ce qui est produit à l'intérieur du pays. Cette dernière notion correspond au produit national net (en quantité), qui est donc la notion comptable associée à Y. L'équilibre de la comptabilité nationale exigeant l'égalité des dépenses avec les revenus, on a donc

$$CT(\cdot) = PY$$

où P représente l'indice de prix du produit national net. Mais dans une économie concurrentielle, lorsque les revenus égalent les coûts, c'est que la technologie présente des rendements à l'échelle constants, c'est-à-dire que le coût de production unitaire est constant. C'est pourquoi cette hypothèse se retrouve dans pratiquement tous les travaux faisant intervenir une représentation de la technologie pour l'économie dans son ensemble. On a donc

$$CT(Y, \phi r, \rho w, B) = C(\phi r, \rho w, B)\, Y,$$

où $C(\cdot)$ est le coût de production unitaire[3] qui est lui-même indépendant du niveau de production.

Par ailleurs, les coefficients ϕ et ρ, qui représentent les changements d'efficience dans K et L, ont surtout pour intérêt de refléter les modifications des prix relatifs effectifs des facteurs de production; les phénomènes qui affectent ϕ et ρ simultanément *sans modifier les prix relatifs* constituent en fait des déplacements de la fonction de coût, et sont donc du même type que ceux que visent à prendre en compte les variables du vecteur B, que nous détaillerons plus bas. Il serait donc redondant, et, du point de vue économétrique, coûteux en paramètres et susceptible de poser des problèmes de colinéarité, de les incorporer à ϕ et ρ. Mais si ϕ et ρ n'ont pour seul objet que de prendre en compte les composantes du progrès technologique qui modifient les prix relatifs, il suffit pour celà d'un seul indice. Nous posons donc $\phi = 1$, étant bien entendu que ceci ne revient pas à postuler que l'efficience de K est constante, mais que toute variation commune dans l'efficience de K et L est prise en compte par l'intermédiaire des variables de B. On rejoint ainsi la distinction qui est faite traditionnellement par les économistes depuis Hicks (1932) entre le *progrès technologique neutre* par lequel les coûts se modifient sans changement dans les prix relatifs des facteurs, donc dans les proportions dans lesquelles ils sont employés, et le *progrès biaisé*, qui est un phénomène où les baisses de coûts résultent d'une réallocation des proportions entre les facteurs.

Les fonctions de coût sont homogènes de degré un dans les prix des facteurs. Ceci veut dire que lorsque r et ρw sont multipliés par un même nombre arbitraire, disons λ, le coût est lui-même multiplié par λ. En particulier, si $\lambda = 1/r$ il s'ensuit que $C(1, \rho w/r, B)$, que nous noterons désormais $c(\rho W, B)$, avec $W \equiv w/r$, est égal à $(1/r)C(r, \rho w, B)$. $c(\rho W, B)$ désigne le coût unitaire par rapport au coût du capital. C'est cette

fonction que nous estimons pour mesurer la productivité. On peut montrer en outre qu'elle est croissante et concave dans le prix relatif W, deux propriétés dont il faudra vérifier qu'elles sont satisfaites par la fonction estimée.

Pour donner maintenant une saveur plus concrète à l'exposition, avant de préciser quelles sont les variables introduites dans B pour prendre en compte le progrès neutre et quelles sont celles qui affectent ρ, nous allons introduire la forme fonctionnelle effectivement retenue pour représenter $c(\cdot)$. Plus précisément, nous allons commencer par introduire la fonction translog $cc(\cdot)$ telle qu'elle se formule en l'absence de progrès technologique. Par la suite nous modifierons $cc(\cdot)$ de façon à faire intervenir le progrès et à aboutir à la fonction $c(\cdot)$. La fonction translog de coût unitaire sans progrès est une forme flexible[4] qui s'écrit, dans notre cas

$$(1) \qquad \ln cc = a_o + a\ln W + 0{,}5b(\ln W)^2$$

Divers termes vont lui être ajoutés pour prendre en compte le progrès technologique.

Il y a dans la littérature économique deux visions du progrès technologique qui, souvent, cohabitent. La première considère ce dernier comme un phénomène exogène, qu'on peut tenter de mesurer, mais qui ne s'explique pas par des raisons économiques. Pour en mesurer l'impact par des méthodes économétriques, on introduit tout simplement la date comme l'une des variables "explicatives" du modèle économétrique. La deuxième vision perçoit le progrès technologique comme résultant dans une certaine mesure de choix volontaires de nature économique. Pour en mesurer l'impact par des méthodes économétriques, on introduit comme variables explicatives les variables en fonction desquelles s'effectuent ces choix, ou

toute combinaison a priori de ces variables. Comme nous l'expliquons dans Gatien et al. (1987), ce processus de progrès technologique induit est de même nature que l'investissement; il prend donc du temps, si bien que les variables explicatives retenues sont décalées dans le temps par rapport à l'année où est mesuré le progrès.

II.3. Spécification du progrès technologique neutre

Le progrès technologique neutre peut donc avoir une composante exogène qui sera prise en compte par la date t, et une composante induite, déterminée par diverses variables de nature économique, socioéconomique, ou sociodémographique. Les théories les plus connues du progrès induit font intervenir le pouvoir de monopole, soit en lui attribuant un rôle de stimulation à l'invention, parce que posséder un monopole est pour la firme la garantie que les profits futurs résultant d'une invention lui reviendront (Schumpeter, 1955), soit au contraire en invoquant l'argument que les monopoles ont moins besoin d'être innovateurs parce qu'ils ne sont pas menacés par la concurrence. Malheureusement, ce genre d'hypothèses ne peuvent être testées ici, ni l'impact du degré de monopole pris en compte directement, faute de données d'une part, et par souci de cohérence d'autre part. En effet, comme nous l'avons indiqué plus haut, l'utilisation de données de comptabilité nationale agrégées est incompatible avec l'existence des profits anormaux (excédant la rémunération normale du capital) auxquels il faut s'attendre en présence de monopoles. Nous reprenons cependant cette idée que toute forme de concurrence et d'ouverture peut constituer un stimulant à l'innovation, lorsque nous introduisons comme variables socio-économiques ou démographiques la part du commerce extérieur (exportations plus importations) dans le revenu national net, et la part des migrations (immigration plus émigration) dans la population totale. Une autre explication, popularisée par Arrow

(1962), pour le progrès technologique est l'apprentissage par la pratique (Learning by doing). L'idée est que la pratique d'une certaine activité économique permet peu à peu d'en mieux maitriser les "ficelles" et d'y apporter des améliorations progressives. C'est dans le même esprit qu'on parle de la diffusion des innovations. Pour les économètres, une façon de prendre en compte ce type de phénomène est de chercher un lien dans les données entre l'expérience, mesurée souvent par la production cumulative, et la production. Nous procédons ainsi nous-même, sachant bien encore une fois qu'une production cumulative agrégée donnée peut être compatible avec une très grande diversité d'expériences individuelles pour les firmes. Enfin, outre les variables socio-démographiques déjà évoquées, nous utilisons le taux de fécondité comme indice d'attitude de la population à l'égard de la production économique et de l'innovation. Un taux élevé peut cependant avoir un effet négatif ou un effet positif sur la productivité. En effet, si un taux élevé peut traduire un grand dynamisme et avoir des effets favorables, il peut aussi éloigner certains éléments de la main-d'oeuvre active de préoccupations de production économique ou de carrière, au profit d'activités familiales. Il est possible que ces effets existent et soient importants, qu'ils soient faibles, ou encore qu'ils se compensent; c'est là une question empirique auquel notre travail fournit un élément de réponse.

Par définition cependant, pour que l'effet en soit bien "neutre", il faut que les variables de progrès neutre n'aient aucun impact sur les proportions des facteurs de production mais affectent le coût dans son ensemble. Quelle que soit la forme fonctionnelle retenue, si x est l'une des variables déterminant le progrès induit, on doit donc avoir, pour tout facteur de production $\partial \ln c / \partial \ln w$ [5] indépendant de x. Ici, comme il y a seulement deux facteurs de production et un prix relatif, il s'ensuit que $\partial \ln c / \partial \ln W$ doit être indépendant de x[6].

On peut vérifier que cette condition est respectée lorsque l'on ajoute au côté droit de (1) les termes suivants, conformément à la discussion qui a précédé

$$(2) \qquad \ln B = \Sigma_s B_{Ys} \ln Y_{t-s} + \Sigma_s B_{Es} \ln EI_{t-s} + \Sigma_s B_{Is} \ln IM_{t-s} + \Sigma_s B_{Fs} \ln FEC_{t-s} + B_t t + B_{tt} t^2$$

où Y_{t-s}, EI_{t-s}, IM_{t-s} et FEC_{t-s} représentent respectivement, pour l'année t -s, la production, le ratio de la somme des importations et des exportations dans la dépense nationale nette, le ratio de la somme de l'immigration et de l'émigration dans la population, et l'indicateur conjoncturel de fécondité. Malheureusement, une forme telle que (2) comporte un nombre infini de paramètres. Pour que le nombre de paramètres devienne compatible avec le travail économétrique qui constitue l'objet de cette recherche, nous faisons l'hypothèse que les variables décalées dans le temps de (2) ont d'autant moins d'impact qu'elles sont plus anciennes. Plus précisément, nous faisons l'hypothèse que les coefficients B_{is}, i = Y, E, I, F, sont donnés par une progression géométrique de raison λ

$$B_{is} = \lambda^s B_i$$

Sous cette hypothèse, en notant L l'opérateur de retard (tel que $Lx_t = x_{t-1}$), (2) devient, en t^7

$$(3) \qquad \ln B = (B_y \ln Y_{-1} + B_{EI} \ln EI_{-1} + B_{IM} \ln IM_{-1} + B_{FEC} \ln FEC_{-1})/(1 - \lambda L) + B_t t + B_{tt} t^2$$

où, pour toute variable x, x_{-1} indique une observation décalée d'une période.

II.4. Spécification du progrès technologique biaisé

Comme le progrès neutre, le progrès biaisé est susceptible d'avoir une composante exogène, prise en compte par la date t, et une composante induite, prise en compte par diverses variables de nature économique, socioéconomique, ou sociodémographique. Rappelons que nous désirons prendre en compte ce qui affecte l'efficience relative de la main-d'oeuvre. Comme nous possédons des données sur la composition par âge et par sexe de la main-d'oeuvre active, et que certaines variables prennent des valeurs spécifiques à ces diverses catégories, nous adoptons pour le coefficient d'efficience ρ en t

$$(4) \qquad \ln \rho = \sum_{\text{Age}}^{3} \sum_{\text{Sexe}}^{2} S^{ij} \ln \alpha^{ij}(\ln x, t)$$

où S^{ij} représente la part des individus de classe d'âge i et de sexe j dans la main-d'oeuvre active en t et lnx représente les logarithmes, en t, de toutes les variables (potentiellement indicées par i et j), hormis t, qui caractérisent ou déterminent l'efficience relative de la main-d'oeuvre. Parmi celles-ci, le niveau d'expérience et le niveau d'éducation ont un impact direct et contemporain. Elles reflètent le niveau technologique de la main-d'oeuvre plutôt qu'elles ne le déterminent. D'autres variables au contraire ont un rôle causal dans l'évolution de l'efficience de la main-d'oeuvre alors que leur impact n'est pas directement mesurable; ce sont les variables traditionnellement invoquées pour expliquer le biais technologique induit, c'est-à-dire les valeurs passées des prix relatifs des facteurs de production (W_{t-s}, $s = 1,\ldots,\infty$ dans

notre cas). Sous cette hypothèse, les firmes orientent en effet le progrès technologique de façon à économiser les facteurs de production dont les prix deviennent relativement élevés. Comme on l'a dit plus haut, le phénomène prenant du temps, ce sont les valeurs passées des prix relatifs qui expliquent le biais technologique actuel. Nous supposons, comme dans le cas du progrès neutre, que le poids des variables passées décroit avec l'ancienneté selon une progression géométrique de raison λ. Enfin, si nous supposons en outre que les fonctions $\alpha^{ij}(\cdot)$ sont en fait identiques mais prennent des valeurs différentes parce que, parmi leurs arguments, éducation et expérience sont indicées par i et j, la fonction $\alpha^{ij}(\cdot)$ dans (4) prend la forme suivante

$$(5) \quad \ln\alpha^{ij}(\cdot) = \ln\alpha(\cdot) = A_w W_{-1}/(1 - \lambda L) + A_t t + A_E \ln EDU^{ij} + A_X \ln EXP^{ij}$$

où EDU^{ij} et EXP^{ij} représentent respectivement le niveau d'éducation et le niveau d'expérience des individus de classe d'âge i et de sexe j tandis que L représente toujours l'opérateur de retard.

La fonction de coût unitaire estimée est donc obtenue en ajoutant (3) et (4) à (1), après avoir substitué (5) dans (4).

$$\begin{aligned}(6) \quad \ln c = {} & a_o + a\ln W + 0{,}5b(\ln W)^2 \\ & + (B_Y \ln Y_{-1} + B_E \ln EI_{-1} + B_I \ln IM_{-1} + B_F \ln FEC_{-1})/(1 - \lambda L) \\ & + B_t t + B_{tt} t^2 \\ & + \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{2} S^{ij}[A_w \ln W_{-1}/(1 - \lambda L) \\ & + A_t t + A_E \ln EDU^{ij} + A_X \ln EXP^{ij}]\ln W\end{aligned}$$

Rappelons que c représente le coût unitaire de production pour l'ensemble de l'économie *par rapport au prix du capital*. Comme nous l'avons dit, le coût unitaire de production étant égal, dans le système de comptes

nationaux, à l'indice de prix implicite de la dépense nationale brute, on mesure donc lnc comme la différence entre le logarithme de cet indice de prix et le logarithme de l'indice de prix du capital. Mises à part éducation (EDU^{ij}) et expérience (EXP^{ij}), les variables intervenant dans (6) sont observables et ne posent pas de difficulté particulière. On en trouve une description précise à l'annexe sur les données. Les variables EDU^{ij} et EXP^{ij}, quant à elles ne sont pas directement observables. Nous en décrivons plus bas la construction mais, auparavant, nous allons établir la formule algébrique donnant la productivité dans le cadre méthodologique qui vient d'être présenté.

II.5. Mesure de la productivité

Comme nous l'avons dit, les changements de productivité traduisent les déplacements de la contrainte technologique à laquelle fait face l'économie. D'une période à l'autre, on dira que la productivité a augmenté si, à prix inchangés des inputs, l'économie est capable de produire la même quantité qu'auparavant à moindre coût. Si l'on écrit la différentielle totale de la fonction de coûts, les gains de productivité dA/A se mesurent donc comme l'opposé de la portion qui subsiste lorsque l'on pose dY = dW = 0.

$$(7) \qquad dA/A \equiv -dc/c\big|_{dx-dw-0} = -[(\partial \ln c/\partial \ln p)d\ln p + \Sigma\,(\partial \ln c/\partial \ln i)d\ln i]$$

$$(7)' \qquad dA/A = dY/Y - S_L dL/L - (1-S_L)\,dK/K$$

où L et K représentent respectivement les quantités de travail et de capital, i représente tour à tour toutes les variables de B, et S_L représente la part du travail dans les coûts. Cette dernière expression est directement mesurable. L'objet du travail présenté ici est de vérifier dans quelle mesure les facteurs démographiques l'affectent.

II.6. Le modèle économétrique

Bien que l'équation (6) puisse faire l'objet d'une estimation économétrique, d'autres informations peuvent être utilisées pour améliorer la qualité de cette estimation. Par ailleurs, il faut encore lui faire subir quelques transformations algébriques afin d'en faire disparaitre l'opérateur de retard L avant d'obtenir une forme réellement estimable. Nous commençons par ces dernières.

Multiplions[8] (6) par $(1 - \lambda L)$; on obtient

$$\begin{aligned}(1 - \lambda L)\ln c &= \ln c - \lambda \ln c_{-1} \\ &= (1 - \lambda L)[a_0 + a\ln W + b(\ln W)^2] \\ &+ B_y \ln Y_{-1} + B_E \ln EI_{-1} + B_I \ln IM_{-1} + B_F \ln FEC_{-1} \\ &+ (1 - \lambda L)[B_t t + B_{tt} t^2] \\ &+ \ln W \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} S^{ij} A_w \ln W_{-1} + \ln W \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} (1 - \lambda L) S^{ij}[A_t \\ &+ A_E \ln EDU^{ij} + A_X \ln EXP^{ij}]\end{aligned}$$

où, pour toute variable x, $\ln x_{-1}$ désigne l'observation retardée d'une période de $\ln x$. Après quelques manipulations[9] il vient la forme employée aux fins d'estimation économétrique

$$\begin{aligned}(6)' \quad \ln c &= \lambda \ln c_{-1} + (1 - \lambda)a_0 + a(\ln W - \lambda \ln W_{-1}) + b[(\ln W)^2 - \lambda(\ln W_{-1})^2] \\ &+ B_y \ln Y_{-1} + B_E \ln EI_{-1} + B_I \ln IM_{-1} + B_F \ln FEC_{-1} \\ &+ B_t[t - \lambda(t - 1)] + B_{tt}[t^2 - \lambda(t - 1)^2] \\ &+ A_w \ln W_{-1} \ln W + A_t[t - \lambda(t - 1)]\ln W \\ &+ A_E \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} [S^{ij} \ln EDU^{ij} - \lambda S^{ij}_{-1} \ln EDU^{ij} - 1]\ln W \\ &+ A_X \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} [S^{ij} \ln EXP^{ij}) - \lambda S^{ij}_{-1} \ln EXP^{ij}_{-1}]\ln W\end{aligned}$$

Cette équation n'est pas la seule représentation de la technologie sur laquelle nous possédons des informations. En vertu du lemme de Shephard (Varian, 1984) par différenciation de (6) par rapport à lnW, on obtient la part de la main-d'oeuvre dans les coûts

$$S_L = a + b\ln W + A_w \ln W_{-1}/(1 - \lambda L) + A_t t + A_E \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} S^{ij}\ln EDU^{ij} + A_X \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} S^{ij}\ln EXP^{ij}$$

c'est-à-dire, après regroupement des termes de façon à faire apparaitre la valeur retardée de S_L

$$(8) \quad S_L = \lambda S_{L-1} + a(1-\lambda) + b[\ln W - \lambda \ln W_{-1}] + A_w \ln W_{-1} + A_t[t - \lambda(t-1)] + A_E \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} [S^{ij}\ln EDU^{ij} - \lambda S^{ij}_{-1}\ln EDU^{ij-1}] + A_X \sum_{i=1}^{3}\sum_{j=1}^{2} [S^{ij}\ln EXP^{ij} - \lambda S^{ij}_{-1}\ln EXP^{ij}_{-1}]$$

Cette expression ne dépend que de paramètres et de variables observées. On peut donc l'exploiter pour l'estimation de ces paramètres.

Enfin, les expressions (7) et (7)', qui donnent les gains de productivité, peuvent également être utilisées pour l'estimation. Il suffit de substituer pour le côté droit de (7) les expressions appropriées, tirées de (6) ou (6)' et d'utiliser pour le côté gauche la mesure donnée par (7)'. Nous estimons l'expression ainsi obtenue conjointement avec (6)' et (8), par la méthode du maximum de vraisemblance, après avoir ajouté à ces trois équations des termes d'erreur qui sont par hypothèse indépendamment et normalement distribués.

II.7. Construction des variables éducation (EDU^{ij}) *et expérience* (EXP^{ij})

Si beaucoup des manifestations du progrès technologique sont de nature intangible, on peut considérer tout de même que le niveau d'éducation et d'expérience en constituent des composantes que l'on peut tenter de mesurer. Les données de recensement fournissent en effet sur le sujet des informations qui, pour être fragmentaires, n'en ont pas moins une grande valeur.

A cet égard, notons cependant en guise de préliminaire que les comparaisons entre les données d'éducation des derniers recensements soulèvent diverses questions qui donnent à penser que les chiffres trouvés aux mêmes rubriques d'un recensement à l'autre n'ont pas la même signification. N'ayant pas réussi à éclaircir ces questions au-delà des explications hypothétiques, nous avons décidé de n'utiliser que les données du dernier recensement (1981). Comme les informations sur la main-d'oeuvre active de ce recensement portent sur des individus dont l'âge allait de quinze à quatre-vingt six ans, on y trouve des renseignements sur le niveau d'éducation de la main-d'oeuvre active à des dates bien antérieures au recensement proprement dit.

- EDU^{ij}

Le recensement de 1981 donne pour chaque sexe le taux de fréquentation universitaire en fonction de l'âge de la main-d'oeuvre active. Ce taux représente la proportion des gens d'un âge donné qui avaient fréquenté l'université en 1981 ou auparavant. Bien entendu, une personne de cinquante ans répondant avoir fréquenté l'université en 1981 peut l'avoir acquis peu de temps auparavant et, en particulier, ne l'avait peut-être pas encore lorsque, quinze ans auparavant, elle appartenait à la classe

des 25-40 ans. De même, un 15-24 ans qui n'a pas fréquenté l'université en 1981 l'aura peut-être fréquenté dix ans plus tard. Deux choses sont sûres: i) pour un même groupe, le taux de fréquentation ne peut qu'augmenter avec l'âge. ii) En revanche, c'est un fait empirique bien établi que le niveau moyen d'éducation de la main-d'oeuvre active augmente avec les années.

Pour tenir compte de cette dynamique en exploitant la photographie instantanée que constitue un recensement, il convient de faire certaines hypothèses. A une date donnée (le recensement de 1981), la relation entre le taux de fréquentation universitaire et l'âge est donnée par la courbe 1 de la figure 1. Cette courbe est en fait constituée d'un point particulier de chacune des courbes qui donnent, pour une génération donnée, le taux de diplômation universitaire en fonction de l'âge. Par exemple, le point M de la courbe 1 représente le taux atteint en 1981 par les individus nés en 1941 et qui ont donc 40 ans (c'est-à-dire 25 ans d'appartenance à la main-d'oeuvre active) en 1981. Lorsqu'ils auront 45 ans, ces individus atteindront un taux qui se lit au point N de la courbe 2|25; contrairement au point M, le point N n'est pas une observation du recensement. Les données $EDU^{i,j}$ constituent des points tels que N, sur des courbes de type 2 regroupées par grandes classes d'âge (les 15-24 ans, les 25-39 ans et les 40-65 ans). Pour pouvoir exploiter les données du recensement, il faut pouvoir inférer la forme des courbes de type 2 à partir des données que constituent les points de la courbe 1. Pour ce faire, nous faisons l'hypothèse que le taux de scolarité universitaire SC, pour chaque sexe ($j = 0, 1$), dépend seulement de la génération (date de naissance) et de l'âge, et qu'il est donné par une fonction monotone variant entre 0 et 100%

(9) $$SC^{AJ}(A) = 2\beta \ln A/(1 + 1/[71 - \underline{A}])$$

où β est un paramètre positif à estimer économétriquement, A est le nombre d'années au-dessus de quinze ans (A = âge - 15) et $\underline{A}$ est un indice des générations: $\underline{A}$ = Age en 1981 - 15; $\underline{A}$ = 70 pour les personnes ayant 85 ans en 1981[10]; $\underline{A}$ = 0 pour les personnes entrant dans la main-d'oeuvre active, à quinze ans, en 1981. On peut vérifier que, pour β donné, la courbe donnant SC en fonction de A est d'autant plus haute qu'on a affaire à une génération plus récente. Par construction A = $\underline{A}$ en 1981, c'est-à-dire que les points de toutes les courbes de type 2 correspondant à l'année 1981 sont également sur la courbe 1. C'est bien entendu en imposant cette condition que nous estimons β en régressant SC sur $\ln A/(1 + 1/[71 - A])$[11]. La courbe estimée est présentée à côté de la courbe observée à la figure 2. Les courbes de type 2 sont ensuite calculées à partir de la formule (9) compte tenu de la correction pour l'autocorrélation d'ordre un. Il y en a une série pour chaque sexe. $EDU^{25.1}(1966)$, le taux d'éducation en 1971 des hommes de 25 ans se lit (Figure 1) sur la courbe 2|25, au point d'abscisse A = 15[12]. Notons que, comme la formule (7) ne s'applique plus pour les valeurs de A égales ou supérieures à 71, et que certaines valeurs de EDU^{AJ} de cette classe nous étaient nécessaires (celles qui correspondent aux personnes qui étaient déjà âgées dans les années initiales de notre échantillon), nous avons recouru à une extrapolation linéaire les obtenir. Enfin, pour obtenir les chiffres correspondant aux classes d'âge plus larges que nous utilisons dans le modèle, nous avons fait une moyenne des chiffres calculés à partir de la formule (9), pondérés par les proportions de chaque classe S^{AJ} dans la classe "large" (15 - 24 ans par exemple).

- $EXP^{i,j}$

Nous faisons l'hypothèse que l'expérience dépend du nombre d'années passées à occuper un emploi. Les années récentes ont plus de poids que les années anciennes car leur impact est plus frais et parce qu'il y a plus de chance qu'il s'agisse d'expérience pertinente (la personne a moins de chances d'avoir changé d'emploi ou de poste). Ceci revient à postuler que l'expérience est un capital qui se déprécie à un certain taux s'il n'est pas regénéré par le fait d'occuper un emploi. Faute de renseignements concrets sur ce taux de dépréciation, nous faisons l'hypothèse que le capital humain a une durée de vie correspondant à la durée normale de la vie active, c'est-à-dire cinquante ans; le taux de dépréciation correspondant est de 2% par an. Evidemment, si une personne n'occupe aucun emploi pendant une certaine période, bien qu'elle soit en âge de travailler, elle n'accumule aucune expérience: nous utilisons les données de participation de la main-d'oeuvre active pour corriger les données du recensement en conséquence. L'application de ces principes et hypothèses mène à la formule suivante pour l'expérience des hommes ayant 25 ans en 1985

$$(10) \qquad EXP^{25,j}(1985) = \sum_{s=0}^{10} \Phi(s)\, TA^{25-s,j}(1985-s)$$

où $\Phi(s) = 1/(1 + 0{,}02)^s$ est le coefficient de dépréciation et $TA^{i,j}(t)$ représente le taux de participation des personnes d'âge i et de sexe j en t. L'intervalle sur lequel s'effectue la somme est déterminé de façon à ce que la somme s'effectue sur des années où la génération d'individus considérés étaient en âge de travailler: pour s = 10 les hommes de notre exemple ont 15 ans[13]. En pratique, la formule (10) a été adaptée aux classes d'âge plus larges que nous utilisons.

III - Résultats

Dans cette section, nous présentons les résultats de l'estimation économétrique du modèle présenté dans la section précédente. Il s'agit, plus précisément, de l'estimation de l'équation de coût (6') et des équations de parts (8) et de progrès technique (7') qui lui sont associéees. Nous avons utilisé des données canadiennes portant sur la période 1955 à 1985. Notre discussion portera sur trois niveaux : la qualité de l'ajustement statistique du modèle aux données, le respect des conditions imposées par la théorie économique et l'examen de la relation entre les variables démographiques et la productivité.

III.1. Propriétés statistiques

Les résultats de l'estimation sont présentés au Tableau 1. Les paramètres estimés sont regroupés selon la nature des phénomènes qu'ils représentent. On retrouve, en premier lieu, les paramètres technologiques qui représentent l'état des connaissances technologiques et des possibilités de substitution qui prévaudraient en l'absence de progrès. Puis, on retrouve les paramètres associés au divers types de progrès techniques ; biaisé induit, biaisé exogène, neutre induit et neutre exogène. On remarque que 11 paramètres sur 14 sont significatifs et que la constante de Koyck est dans l'intervalle voulu (entre 0 et 1). Les valeurs des R^2, représentant la qualité de l'ajustement statistique, sont élevées et se comparent aux résultats généralement obtenus dans ce genre d'étude. Les valeurs des statistiques de Durbin sont cependant légèrement trop fortes, suggérant que certaines variables contribuant à expliquer le phénomène à l'étude ont été omises ce qui n'est pas extraordinaire dans notre cas, la complexité du phénomène à l'étude étant trop grande pour être englobée par une modélisation aussi rudimentaire.

III.2. Propriétés de la fonction de coût

La fonction de coût est le résultat d'un processus de minimisation des coûts sans contrainte technologique. En tant que tel, ce processus implique que la fonction doit respecter certaines propriétés de monotonicité et de courbure par rapport à la variable prix relatifs (W). La fonction de coût doit être monotone croissante en W, plus le prix des inputs est élevé plus il en coûte de produire une certaine quantité d'output. De plus, la fonction de coût doit être concave en W. Ce résultat, intuitivement moins évident, peut s'expliquer ainsi : l'ensemble des firmes peuvent, en combinant différemment leurs inputs, trouver une technologie moins coûteuse, lorsque les prix se modifient, que la technologie existant avant la modification des prix. La propriété de monotonicité, qui implique que l'expression $a + b\ln W$ soit positive, est vérifiée pour toutes les observations. La concavité implique que l'expression $b - (S_L - S_L^2)$ soit négative. Cependant, puisque la part du travail, S_L est entre 0 et 1 par définition, il suffit que b soit négatif pour que soit vérifiée la propriété de courbure. On remarque au Tableau 1 que le paramètre b est effectivement de bon signe. Les propriétés de la fonction de coût découlant de la théorie économique sont donc vérifiées.

III.3. Démographie et productivité

La spécification utilisée permet de tester l'importance ou non de groupes de paramètres. Par exemple, on peut estimer un modèle dans lequel les paramètres B_t et B_{tt} correspondant au progrès neutre exogène, sont mis à zéro. La comparaison des logarithmes de vraisemblance du modèle contraint et du modèle non contraint permet de tester si ces variables ou, autrement dit, si ce type de progrès influence significativement les résultats de l'estimation. Puisque notre modélisation est

une façon sophistiquée de représenter le progrès technique, on comprend l'importance de procéder à des tests de cette nature. Nous avons estimer, tour à tour, des modèles dans lesquels nous avons contraint à zéro les paramètres correspondant aux progrès biaisé induit, biaisé exogène, neutre induit et neutre exogène. La figure 3 regroupe l'ensemble de ces tests. A l'aide du test de vraisemblance, il n'a pas été possible de rejeter aucun de ces progrès, pris seul à seul, ni la combinaison des quatre. De plus, notre spécification a aussi comme cas particulier un modèle de correction pour l'autocorrélation d'ordre un des résidus (il suffit de mettre à zéro les B_i et les A_j, i = E, I, F, Y; j = E, X). Encore une fois nous rejetons le fait que ce modèle soit aussi explicatif que le modèle que nous proposons. Il semble donc que notre spécification permette de mieux expliquer le phénomène à l'étude que les modèles traditionnels qui n'incorporent pas les termes de progrès induit (biaisé et neutre).

Concernant les variables démographiques, il est légitime de se demander si leur contribution est significative car elles interviennent à la fois dans le progrès biaisé induit et le progrès neutre induit. Nous avons donc estimé un modèle qui contraignait à zéro les paramètres associés aux variables démographiques. Dans ce cas aussi le test de vraisemblance ne nous permet pas de considérer comme non significative la contribution de ces variables. L'introduction des variables démographiques est donc supportée statistiquement.

Nous pouvons maintenant procéder à l'étude individuelle de chacune des variables démographiques. Du côté du progrès induit, les paramètres associés aux variables expérience et éducation ont le bon signe[14], une augmentation de la valeur de ces variables a pour conséquence de réduire

le coût unitaire, ce qui implique que ces variables ont un effet positif sur le progrès technique et sur la productivité. Cependant, cet effet se fait au détriment de la part du travail qui diminue suite à une hausse de ces variables. L'augmentation de l'efficacité des travailleurs a ainsi permis aux entreprises de substituer du capital au travail. La variable éducation semble être celle qui a le plus d'importance dans ce biais technologique, le coefficient associé à l'expérience étant faible et non significatif. Du côté du progrès neutre, trois variables démographiques ont été incorporées : l'indicateur conjoncturel de fécondité, les mouvements migratoires et l'ouverture du pays via les échanges internationaux. Toutes ces variables qui représentent le dynamisme de l'économie, contribuent positivement au progrès technique, c'est-à-dire qu'elles diminuent le coût unitaire de production. Quant à la variable retardée de la production nationale nette (en valeur), son effet est négatif sur le progrès technique, ce qui est compatible par le fait que les gens, devenant plus riche, travaillent avec moins d'ardeur.

La constante de Koyck, λ, bien que dans l'intervalle voulu et significatif, a une valeur très faible. Cela implique que le passé n'a qu'un impact limité sur le progrès technique présent. Cela laisse supposer que la vitesse d'ajustement de l'économie est très forte.

Finalement, le tableau 2 présente la série de progrès technique total ainsi que sa décomposition entre progrès neutre et biaisé. Nous avons aussi décomposé le progrès biaisé en ses composantes induite et exogène. Le progrès technique moyen, c'est-à-dire le pourcentage moyen de réduction du coût unitaire, a été de 2,91% par année. De ce pourcentage, seul 0,36% est expliqué par le progrès neutre, le 2,55% restant étant dû au progrès biaisé qui, pour sa part, se divise en 0,24% pour la

partie exogène et 2,31% pour la partie induite. La composante majeure du progrès technique est donc le progrès induit biaisé qui est lui-même expliqué, en partie, par des variables démographiques, ici l'éducation et l'expérience.

Pour interpréter ces résultats, il semble utile à ce point-ci de revenir en arrière et d'examiner comment ont évolué au cours de la période les indicateurs socio-démographiques qui fournissent, d'après le modèle, une contribution significative à l'augmentation de la productivité.

Reprenons d'acord l'évolution de la productivité (figure 4). De 1955 à 1985, la productivité au Canada s'est considérablement accrue; elle s'est en fait multipliée par 2,37. Cependant ces gains ont été acquis de façon chaotique : d'abord une première décennie où elle s'éloigne du point de départ et où, par rapport à ce point de départ, elle fluctue ensuite entre 1,10 et 1,18; à partir de 1966, nouvelle hausse jusqu'en 1969 suivie d'une nouvelle période de fluctuations entre 1,30 et 1,40; la chute brutale de 1974 et 1975 ramène la productivité en deça du niveau de 1955; en 1977, c'est la reprise vigoureuse qui se maintient avec des légères fluctuations jusqu'en 1985.

Les variations du progrès biaisé induit précède légèrement celles du total alors que les autres composantes subissent des fluctuations bien modestes en comparaison, le progrès neutre ayant au cours de la période un niveau inférieur à ce qu'il était en 1955.

Comme le progrès biaisé induit, facteur explicatif principal du progrès total, est lui-même expliqué, en partie, par les éléments socio-démographiques, il s'impose d'examiner l'évolution de ces facteurs pour

voir comment leur action a pu contribuer à réduire les coûts de production dans l'économie canadienne.

C'est en introduisant deux variables socio-démographiques que les qualités de la population active sont prises en compte dans le modèle. Il s'agit du niveu d'instruction et de l'expérience pondérés par la structure par âge et par sexe. L'expérience n'apportant pas de contribution significative, examinons plutôt l'évolution du niveau d'instruction et de la structure par âge et par sexe.

C'est un lieu commun que d'affirmer que le niveau d'instruction s'est élevé durant cette période. Il n'est toutefois pas inutile de rappeler que les générations qui faisaient partie de la main-d'oeuvre en 1955 comprenaient encore une fraction très importante (presque 50% chez les plus de 35 ans) qui n'avaient pas complété leur 9e année. Par ailleurs, dans les mêmes groupes d'âges, le pourcentage de ceux qui avaient fréquenté l'université n'atteignaient pas 10%. Les jeunes d'alors qui entraient sur le marché du travail étaient un peu plus instruits : entre 30 et 35% n'avaient pas terminé leur 9e année et entre 10 et 15% avaient fréquenté l'université.

En 1985, la situation a bien changé : les travailleurs peu instruits occupent une place de plus en plus réduite et les jeunes qui entrent sur le marché du travail comprennent une fraction importante qui ont fréquenté l'université : plus du quart chez les hommes, plus du cinquième chez les femmes. La majorité des membres de la population active a donc un niveau d'instruction secondaire au collégial. Il s'agit d'un changement qualitatif fort important.

L'indicateur du niveau d'instruction (pourcentage ayant fréquenté l'université dans les générations présentes à chaque année dans la population active) a été pondéré par la structure par âge et par sexe. Cette dernière s'est aussi profondément transformée (figure 5) : d'abord, elle s'est rajeunie, les groupes d'âges 25-44 ans occupant une place plus importante en 1985 qu'en 1955 : 53% comparativement à 48%. Ce changement non négligeable s'est accompagné par la montée significative des effectifs des femmes qui ne représentaient que 23% des effectifs en 1955, mais atteignaient 43% en 1985. Ce phénomène s'est d'abord produit graduellement, mais à partir de 1970 (figure 6) il s'accentue surtout sous la poussée des femmes âgées de 25-44 ans qui, grâce à la réduction de leur charge maternelle, entrent plus nombreuses sur le marché du travail et y reviennent massivement après s'en être éloignées le temps des grossesses et de la petite enfance. Ces jeunes femmes partagent avec les hommes du même âge un niveau d'instruction relativement élevé, et de ce fait contribuent à donner du poids à cette vaiable dans les mécanismes sous-jacents à l'augmentation de la productivité. Il s'agit là du résultat des politiques de démocratisation de l'instruction des années 1960 qui ont ouvert l'enseignement post-secondaire à un nombre de plus en plus grand de jeunes en général, et aux femmes en particulier.

Par ailleurs, au-delà de l'influence directe du niveau d'instruction, ne faut-il pas s'interroger sur la signification de l'indicateur pondéré que nous avons utilisé? Non seulement cet indicateur évolue-t-il selon l'évolution du niveau d'instruction, mais il reflète également la composition démographique : populative active plus jeune et composée d'un nombre croissant de femmes. Or, faut-il insister sur le fait que les femmes, même instruites, ne s'intègrent pas au marché du travail aux mêmes conditions que les hommes : elles sont sujettes à la

discontinuité en emploi, elles optent plus souvent que les hommes pour des emplois temporaires ou à temps partiel et souvent, ce choix n'en est pas un, car l'accroissement de la productivité de la fin des années 1970 et début des années 1980, n'est-il pas lié à un accroissement marqué des emplois temporaires et à temps partiel. En effet, l'importance relative des emplois à temps partiel a augmenté durant cette période passant de 10% à 15% de l'ensemble des emplois. D'autre part, ces emplois sont occupés à plus de 70% par des femmes (Statistique Canada, cat. 71-201).

En définitive, une main-d'oeuvre plus instruite, mais plus jeune et composée d'un plus grand nombre de femmes aura permis des gains substantiels de productivité.

IV - Conclusion

Deux conclusions s'imposent à la suite de ces résultats :

- l'amélioration marquée de l'adéquation d'un modèle économique qui intègre les qualités de la population active par rapport au modèle classique qui ne revient que des termes purement économiques. Bien sûr, le travail reste ici embryonnaire; il a surtout été limité par le manque de données, c'est-à-dire de longues séries qui auraient permis de raffiner l'analyse.
- la poursuite de travaux qui permettent aux deux approches fournies par la démographie et par la science économique de mieux circonscrire la réalité.

L'objectif ultime qui est de mieux comprendre les liens entre la croissance positive ou négative de la population et le maintien, voire l'amélioration du niveau de vie ne pourra être atteint que par la continuation de travaux plus limités qui examinent de façon soignée les

répercussions des changements démographiques sur l'économie. Ici, nous avons démontré que la prise en compte des qualités de la population active permet de mieux éclairer les mécanismes sous-jacents aux gains de productivité qui se sont produits de 1955 à 1985. Cette constatation pourra alimenter la réflexion de ceux qui cherchent à évaluer les conséquences de l'évolution démographique anticipée.

NOTES

---

[1]Département de démographie, Université de Montréal.

[2]Département de sciences économiques et Centre de recherche et développement en économique, Université de Montréal.

[3]On peut interpréter l'unité de production comme un point dans l'indice de quantité du produit national net.

[4]Voir Ouellette (1988) pour une présentation des diverses formes flexibles les plus employées en économétrie, avec les références pertinentes.

[5]Sachant qu'en vertu du lemme de Shephard (Varian, 1984), $\partial c/\partial \omega$ donne la demande pour le facteur dont le prix est ω, on vérifie aisément que $\partial \ln c/\partial \ln \omega$ donne la part de ce facteur dans le coût unitaire. Par définition, cette part ne doit pas être affectée par le progrès technologique neutre.

[6]Si la fonction retenue est une translog, comme c'est le cas ici, en vertu du théorème de Young la condition $\partial \ln c/\partial \ln W$ indépendant de x (ou lnx) équivaut à $\partial \ln c/\partial \ln x$ indépendant de lnW.

[7]Pour alléger la notation, dans la suite de cet exposé, nous ommettons les indices de temps lorsqu'il n'y a pas risque de confusion.

[8]Bien que l'opérateur L ne constitue en aucune façon un nombre, on peut

---

faire subir aux expressions où il intervient les quatre opérations algébriques en le traitant exactement comme s'il s'agissait d'un nombre.

[9]On exploite notamment le fait que la somme des parts sur i et j est égale à un.

[10]C'est la catégorie d'âge la plus élevée du recensement.

[11]Nous corrigeons pour l'autocorrélation par la méthode de Cochrane-Orcutt.

[12]En effet, ces hommes avaient 40 ans en 1981. Donc $\underline{A} = 25$. On les "observe" 15 ans plus tôt, lorsque $A = 15$.

[13]Ce choix de la valeur plafond de s n'est pas très important puisque, pour les âges inférieurs à 15 ans, TA est normalement nul.

[14]Les paramètres A_E et A_X sont multipliés par les variables lnEDUC et lnEXP qui sont respectivement négative et positive suite à la normalisation adoptée. Leur produit, $A_E \cdot$lnEDUC et $A_X$lnEXP sont donc tous deux négatifs. Les valeurs négatives impliquent une diminution de la part du travail suite à l'amélioration du niveau de la scolarité et de l'expérience.

Bibliographie

ARROW, K.J. (1962), "The Economics Implications of Learning-by-doing", Review of Economics Studies, 29, pp. 155-73.

BECKER, G. (1957), The Economics of Discrimination, The University of Chicago Press, Chicago.

CATSIAPIS, G. (1987), "A Model of Educational Investment Decisions", Review of Economics and Statistics, 69(1), pp. 33-41.

ESPENSHADE, T.J. et W. J. SEROW (eds) (1978), "The Economic Consequences of Slowing Population Growth". New-York Academic Press, 288 p.

GATIEN, M.-A., LASSERRE, P. et OUELLETTE, P. (1987), "The Measurement of Productivity and Scarcity Rents: the Case of Asbestos in Canada", Cahier 8747. Département de sciences économiques, Université de Montréal.

HICKS, J.R. (1932), The Theory of Wages, London, Macmillan.

LAZEAR, E. (1980), "Family Background and Optimal Schooling Decisions", Review Economics and Statistics, 62(1), pp. 42-51.

OUELLETTE, P. (1988), "Economie de l'entreprise", Notes de cours, Département de sciences économiques, Université de Montréal, Montréal.

SCHUMPETER, J.A. (1955), Theory of Economic Development, Harvard University Press, Cambridge, Mass.

SOLOW, R. (1957), "Technical Change and the Production Function", Review of Economics and Statistics, 39(3), pp. 312-20.

VARIAN, H. (1984), Microeconomic Analysis, Norton & Company, New-York.

Tableau 1 Résultat de l'estimation de la fonction de coût, de la part du travail et du progrès technique

PARAMETRE	COEFFICIENT ESTIME	T-STATISTIQUE
Constante de Koyck		
λ	0.06	2.34
Technologie de base		
a0	3.27	35.78
a	1.99	2.43
b	-0.019	-6.18
Progrès biaisé induit		
Aw	0.0071	4.74
Ae	0.29	2.64
Ax	-0.081	-0.52
Progrès biaisé exogène		
At	-0.0063	-2.17

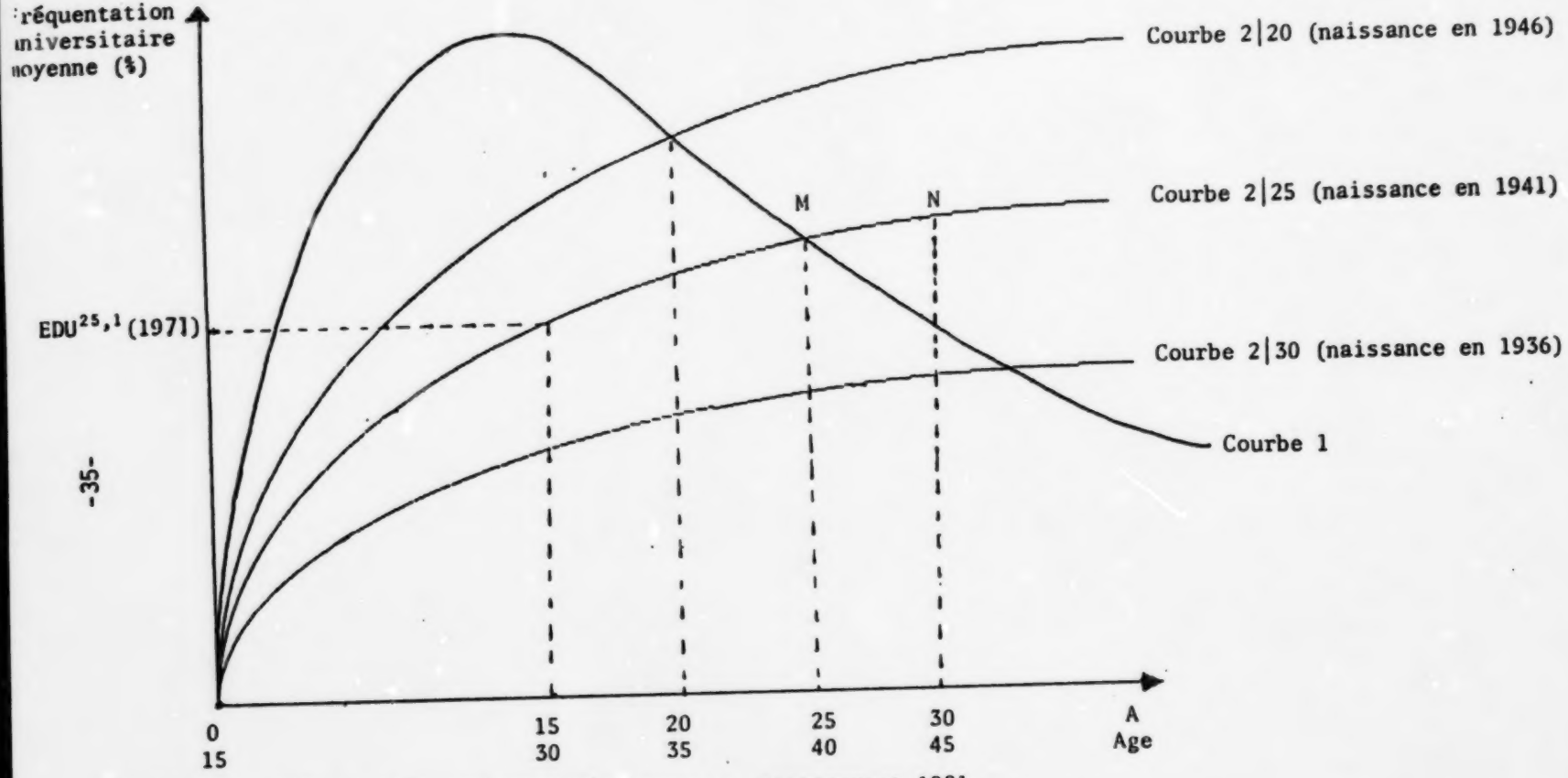
PARAMETRE	COEFFICIENT ESTIME	T-STAT.
Progrès neutre induit		
By	3.25	4.09
Be	-1.58	-2.91
Bi	0.13	1.43
Bf	0.46	1.39
Progrès neutre exog.		
Bt	-0.17	-4.12
Btt	0.0037	3.03

log. de vraisemblance : 250.196
nombre d'observations : 31
nombre d'équations : 3
nombre de paramètres estimés : 14
éq. de prog. technique : R2=0.99, Durbin=1.94
éq. de part du travail : R2=0.67, Durbin= 2.25
éq. de coût : R2=0.96, Durbin= 2.84

Tableau 2 Mesure des diverses séries de productivité

Année	PT	PN	PB	PBI	PBE
1955	1 00	1.00	1.00	1.00	1.00
1956	.99	.96	1.04	1.03	1.01
1957	.97	.91	1.06	1.05	1.01
1958	1.08	.87	1.25	1.24	1.01
1959	1.17	.88	1.34	1.31	1.02
1960	1.16	.95	1.22	1.19	1.03
1961	1.15	.97	1.18	1.14	1.03
1962	1.18	1.09	1.08	1.04	1.04
1963	1.18	.98	1.21	1.16	1.04
1964	1.12	.91	1.23	1.18	1.05
1965	1.12	.93	1.20	1.14	1.05
1966	1.11	.89	1.24	1.18	1.05
1967	1.21	.88	1.38	1.31	1.06
1968	1.34	.93	1.43	1.35	1.06
1969	1.43	.99	1.44	1.35	1.07
1970	1.32	.94	1.41	1.32	1.07
1971	1.30	1.00	1.29	1.21	1.07
1972	1.35	.96	1.40	1.31	1.07
1973	1.35	.90	1.50	1.40	1.07
1974	1.04	.81	1.28	1.21	1.07
1975	.94	.89	1.06	1.00	1.06
1976	.88	.79	1.11	1.07	1.05
1977	1.64	.74	2.22	2.13	1.04
1978	2.11	.86	2.46	2.36	1.04
1979	2.22	.93	2.40	2.29	1.05
1980	2.23	.97	2.29	2.18	1.05
1981	2.34	.99	2.36	2 24	1.06
1982	2.07	1.05	1.97	1.86	1.06
1983	2.24	1.15	1.96	1.85	1.06
1984	2.43	1.10	2.21	2.07	1.07
1985	2.37	1.11	2.13	1.99	1.07

PT : indice de productivité totale
PN : indice de productivité n'incorporant que le progrès neutre
PB : indice de productivité n'incorporant que le progrès biaisé
PBI : indice de productivité n'incorporant que le progrès biaisé induit
PBE : indice de productivité n'incorporant que le progrès biaisé exogène



Courbe 1 : Fréquentation universitaire moyenne, recensement 1981.
Courbe 2|A : Fréquentation universitaire en fonction de l'âge selon les générations A.
$EDU^{25,1}(t)$: Fréquentation universitaire à la date t des hommes (j=1) qui ont 40 ans (i=25) en 1981.
$SC^{25,1}(A)$: Fréquentation universitaire à l'âge A+15 des hommes (j=1) dont l'âge est 40 ans en 1981 (A=75).

Figure 1 : Education : la dynamique sous-jacente aux données du recensement de 1981.

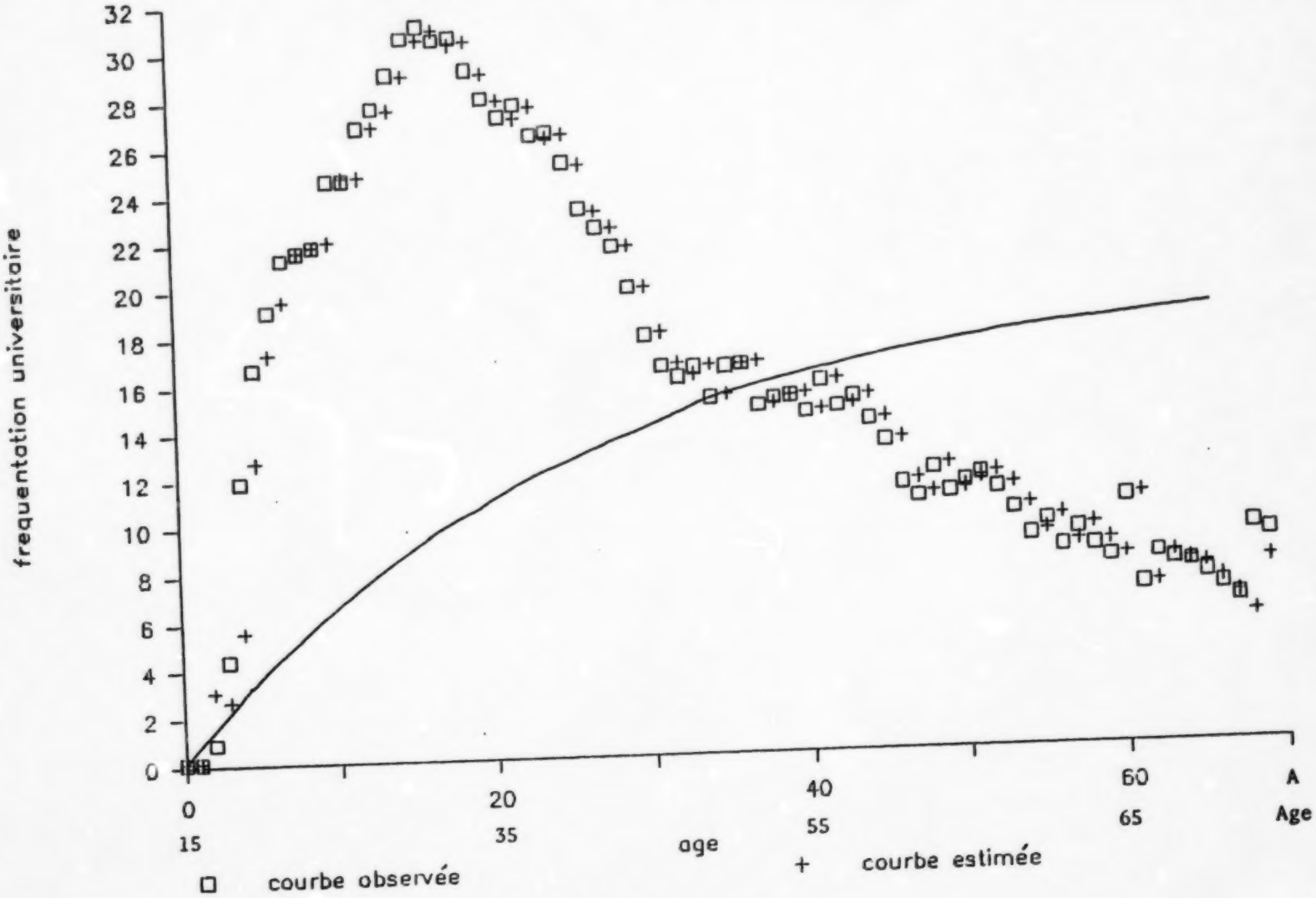


Figure 2 : Education : courbes observées et estimées.

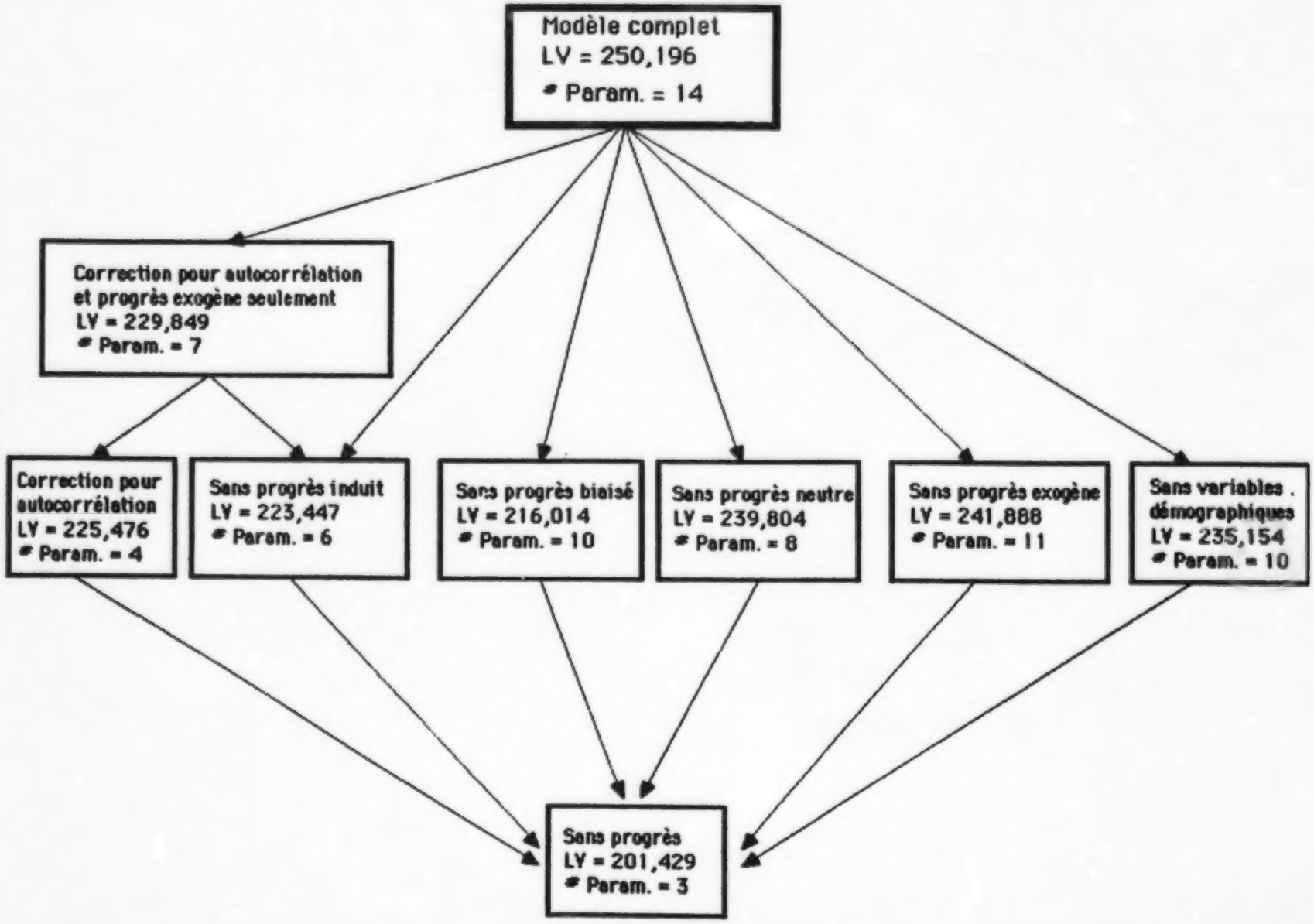


Figure 3 Tests de vraisemblance des divers modèles

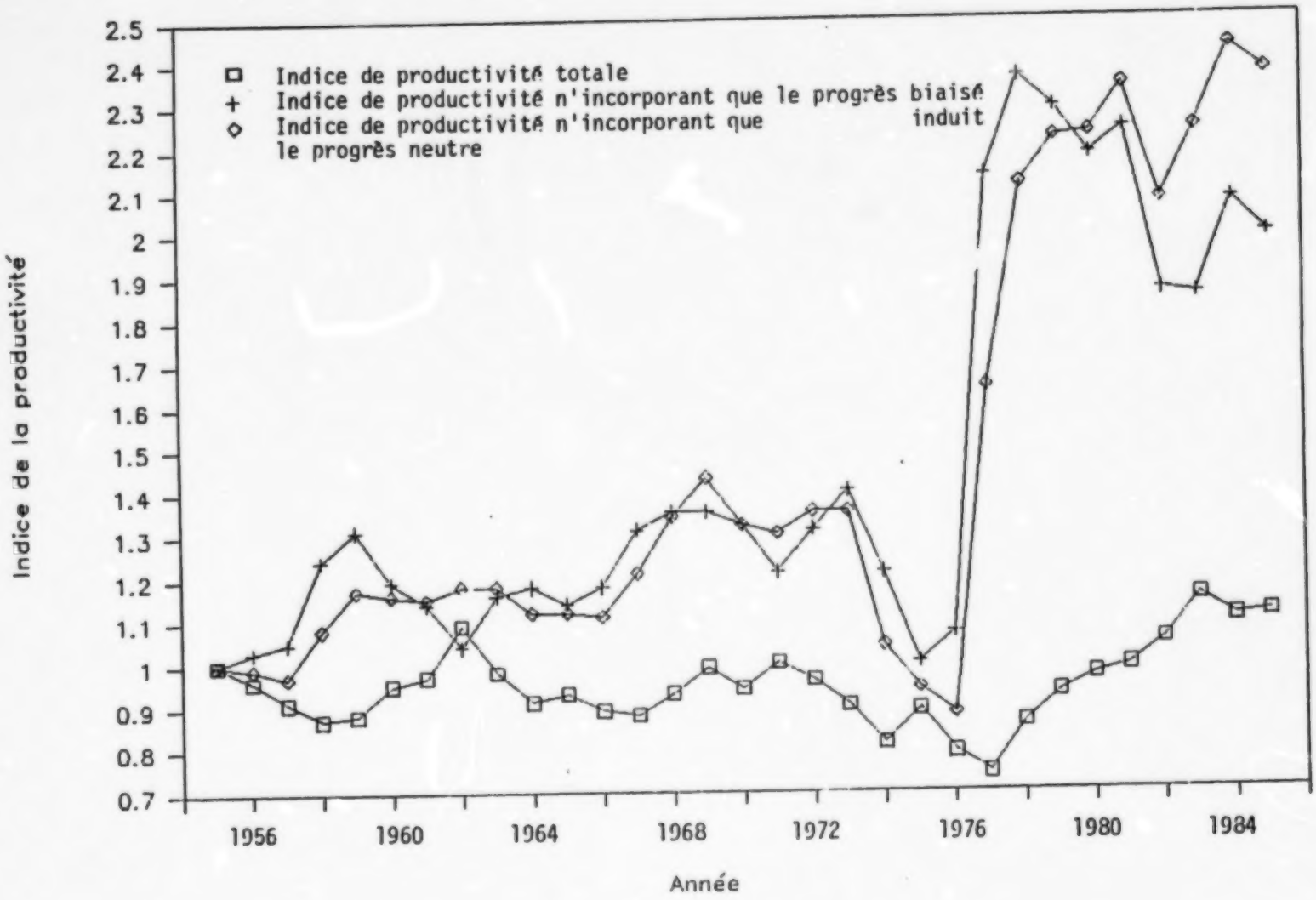


Figure 4 : Evolution de la productivité

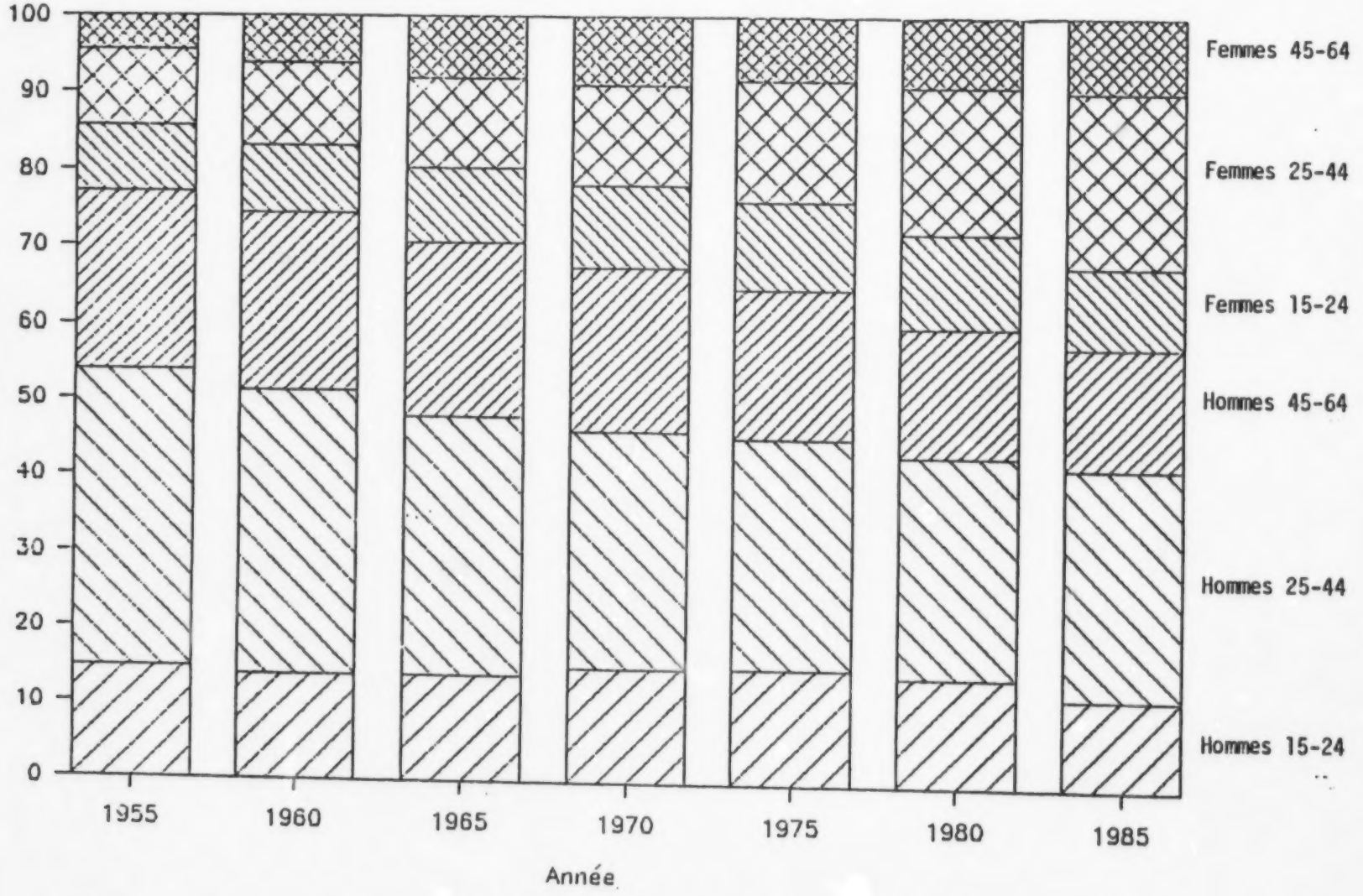


Figure 5 : Evolution de la composition par âge et par sexe de la population active du Canada, 1955-1985

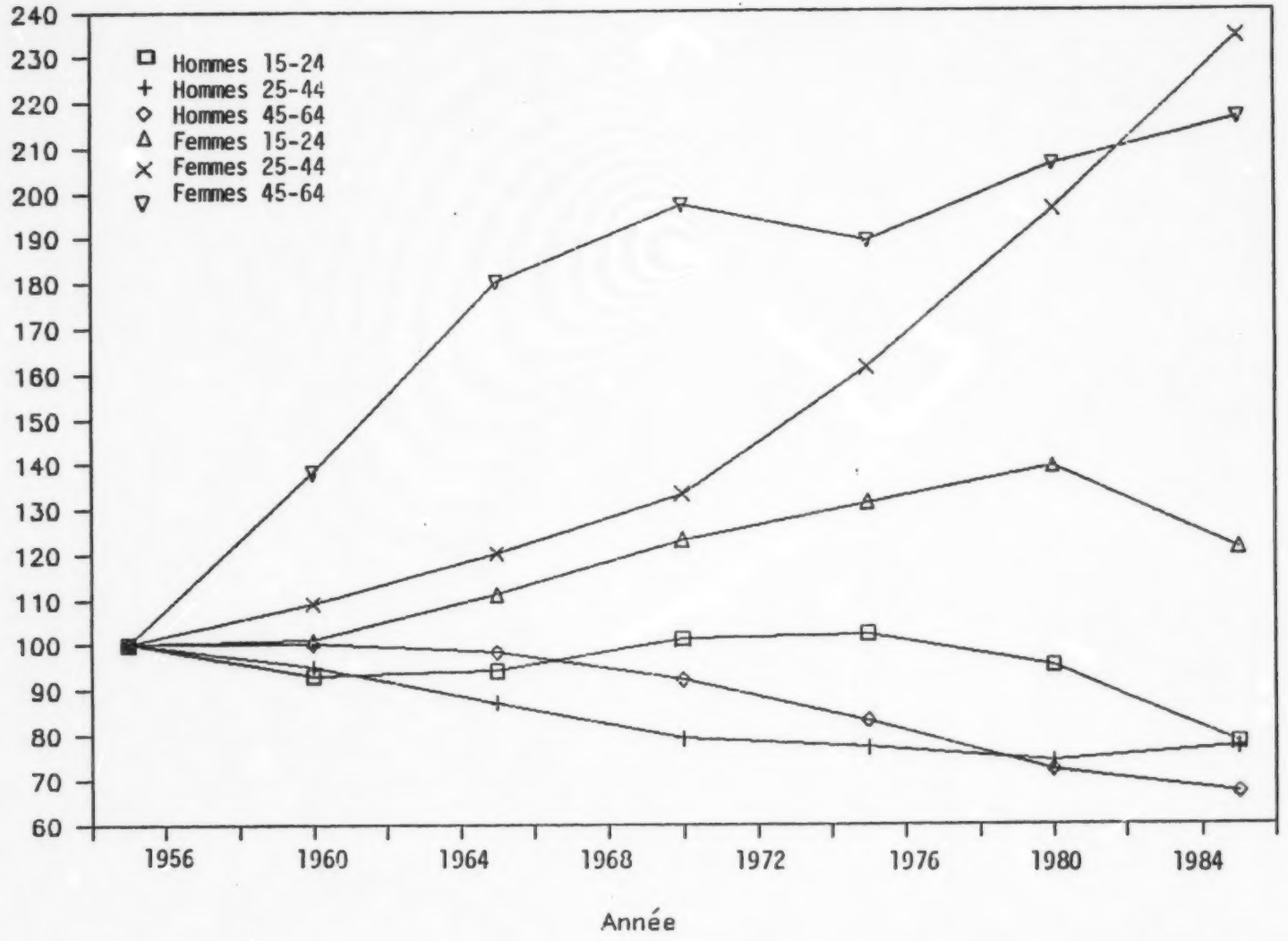


Figure 6 : Evolution de la part relative des groupes d'hommes et de femmes dans la population active

ANNEXE DES DONNEES

1. Nom de la variable : CoÛt total (revenu national net)

2. Symbole : CT

3. Unités : Million de dollars courants

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources : Statistique Canada, Cat. 13-201, Tableau 4.

1. Nom de la variable : Prix (indice de prix à la dépense nationale brute)

2. Symbole : P

3. Unités : P = 1,0 en 1953

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources : Statistiques historiques du Canada, 2e édition, Séries K172 pour les données de 1953-1973. Statistique Canada, Cat. 13-201, édition octobre 1984, tableau 7, ligne 13, pp. 8-9 pour 1974-1984. Pour 1985, Cat. 13-001, trimestriel, édition avril 1986, tableau 12, ligne 19, p. 19.

1. Nom de la variable : Salaire horaire dans l'économie

2. Symbole : w

3. Unités : Dollars courants

4. Période : 1952-1985

5. Calculs et/ou sources :

Calcul :

$$w(t) = \frac{\text{Salaire moyen hebdomadaire}}{\text{Durée hebdomadaire moyenne de travail}} = \frac{\bar{w}(t)}{d(t)}$$

$$\text{avec } d(t) = \sum_{i=1}^{3} S_i \, d_i(t) \text{ , (i = mines, construction, manufacture)}$$

où S_i = part des secteurs i dans le PIB;
$d_i(t)$ = durée de travail du secteur i (en heures de travail).

Sources :

d(t) : Cat. 13-201, Statistique Canada, tableau 3, p. 97 pour 1970 à 1984, tableau 28 pour les données avant 1970.
Cat. 72-202, Statistique Canada, 1953-1970, tableau 2 ou 3.
Annuaire du Canada 1976-1977 pour 1971-1975, tableau 8.18, p. 441.
Annuaire du Canada 1980-1981 pour 1976-1978, tableau 7.71, p. 305.
Annuaire du Canada 1979-1982 pour 1979-1982, tableau 5.19, p. 189.
Cat. 72-202, Statistique Canada, 1983-1985, tableau 1.

$\bar{w}(t)$: Cat. 72-021, Statistique Canada, édition octobre 1964, tableau 15, p. 53 pour les données de 1947 à 1956. Pour 1957 à 1966, tableau 5, p. 37 de l'édition de mars 1969. Pour 1967 et 1968, tableau 5, p. 77 de mars 1970. Pour 1969, tableau 5, p. 81 de mars 1971. Pour 1970, tableau 1A, p. 14 de juillet 1972. Pour 1971, tableau 1A, p. 14, édition juin 1973. Pour 1972, tableau 1A, p. 16, édition août 1974. Pour 1973, tableau 1A, p. 16, édition juillet 1975. Pour 1974, tableau 1A, p. 6, édition août 1976. Pour 1975, tableau 1A, p. 6, édition avril 1977. Pour 1976, tableau 1A, p. 5, édition mai 1978. Pour 1977, tableau 1A, p. 6, édition avril 1979. Pour 1978, tableau 1A, p. 6, édition mai 1980. Pour 1979, tableau 1A, p. 6, édition mai 1981. Pour 1980, tableau 1A, p. 6, juin 1982. Pour 1981, tableau 1A, p. 6, édition mai 1983. Idem pour 1982. Pour 1983, tableau 1, p. 2, édition avril 1984. Pour 1984, tableau 1, p. 2, édition mai 1985. Pour 1985, tableau 1, p. 2, édition avril 1986.

1. Nom de la variable : Prix du service du capital

2. Symbole : r

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Calcul :

$$r = \left[int_t + \frac{\delta q_t}{q_{t-1}} - \frac{q_t - q_{t-1}}{q_{t-1}} \right] q_{t-1}$$

où int_t est le rendement moyen sur les obligations du gouvernement du Canada de 1 à 3 ans;
δ est le taux de dépréciation du capital (= 0,05);
q_t est l'indice implicite des prix de la formation brute de capital fixe, c'est-à-dire la formation brute de capital fixe en dollars courants divisée par la même chose en dollars constants.

Sources :

q_t : Revue économique, Perspective sur la décennie, avril 1980, p. 227 pour 1952 à 1969 (tiré du Cat. 13-201). Pour 1970 à 1984, Cat. 13-201, édition octobre 1985, tableau 7, p. 8-7. Pour 1985, nous avons utilisé le ratio de variation de l'indice pour les données en base de 1981 = 100.

int_t : Revue de la Banque du Canada. Indice implicite de la formation brute de capital fixe (prix implicite courant du capital). Période de 1952 à 1985. En pourcentage, l'année de base est 1971 = 100. Données annuelles. Comprend le secteur privé et public. C'est défini comme la formation brute de capital fixe en dollars courants divisée par la formation brute en dollars constants. Nous l'utilisons pour calculer le prix du service du capital.

1. Nom de la variable : Education

2. Symbole : $Edu_{i,j}$

3. Unités : Pourcentage des individus d'âge i et de sexe j qui ont fréquenté l'université

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Calcul : Voir figure 1 et figure 2.

Source : Compilation à partir du recensement de 1981.

1. Nom de la variable : Expérience

2. Symbole : EXP

3. Unités : Nombre d'années

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Expérience :

L'expérience est une variable calculée en nombre d'années passées à occuper un emploi. Les années récentes ont plus de poids que les années anciennes car l'expérience, comme tout capital, se déprécie. Parce que le niveau d'expérience d'une classe d'âge dépend du taux de participation de cette classe d'âge à la population active, nous avons construit l'indice suivant :

Prenons un exemple : soit 1985 pour les hommes des trois classes d'âge.

$$E^{h85}_{15-24\ ans} = (20-15)\ T.A.^{h85}_{15-24} \cdot \beta_0$$

où $\beta_0 = 1$.

$$E^{h85}_{25-44\ ans} = (35-25)\ T.A.^{h85}_{25-44} \cdot \beta_0 + (24-15)\ T.A.^{h70}_{15-24} \cdot \beta_1$$

où $\beta_0 = 1$, $\beta_1 = 1/(1+0,02)^{15}$ (0,02 est le taux de dépréciation du capital humain)

$T.A.^{h70}_{15-24}$ = taux d'activité à 20 ans des hommes qui ont 35 ans en 1985, c'est-à-dire c'est le taux d'activité des 15-24 ans en 1970.

1. Nom de la variable : Part de la classe des individus de la classe i et de sexe j dans la main-d'oeuvre active

2. Symbole : S^{ij}

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Source :

Taux d'activité des hommes et femmes

Nous avons trois groupes d'âge, soit les 15-24 ans, les 25-44 ans et les 45-64 ans. Données mensuelles en pourcentage. Avril est le mois de référence utilisé. Période de 1953 à 1985. Nous avons appliqué la méthode des "coefficients diagonaux" pour trouver les données de 1953 à 1960 pour les 15-24 ans à partir de la moyenne du rapport entre les 15-24 ans et les 14-24 ans de 1961 à 1974.

Sources : Cat. 71-201 de Statistique Canada, édition février 1985, calculé par ajustement direct, pp. 290-291-296 et 299 pour 1953 à 1975 pour les hommes et pp. 304-305-310 et 312 pour les hommes pour 1953 à 1974. Pour 1975, femmes, Cat. 71-001, édition mai 1975, tableau 30, p. 53 et pour les hommes en 1975, idem. Après 1975, Cat. 71-001; pour 1976, p. 28, tableau 17; pour 1977, p. 27, tableau 15; pour 1978, p. 24, tableau 10; pour 1979, p. 26, tableau 10; pour 1980, p. 33, tableau 15; pour 1981, p. 33, tableau 15; pour 1982, p. 36, tableau 15; pour 1983, p. 40, tableau 15; pour 1984, p. 44, tableau 15; pour 1985, p. 40, tableau 13. Idem pour les femmes.

1. Nom de la variable : Part de la somme des importations et des exportations dans la dépense nationale nette

2. Symbole : EI

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1952-1985

5. Calculs et/ou sources :

Importations :

En millions de dollars courants. Période de 1953 à 1985. Données annuelles.

Source : Statistiques historiques du Canada, 2e édition, série A350 pour 1953 à 1977. Annuaire du Canada 1985, tableau 21.2, p. 729, pour 1976 à 1983. Cat. 11-003, édition décembre 1986, tableau 2.4, p. 124 pour 1984 et tableau 2.3, p. 124 pour 1985.

Exportations :

En millions de dollars courants. Période de 1953 à 1985. Données annuelles.

Source : Statistiques historiques du Canada, 2e édition, série G383 pour 1953 à 1975. Annnuaire du Canada 1985, tableau 21.2,p. 729 pour 1976 à 1983. Cat. 11-003, édition décembre 1986, tableau 2.3, p. 122 pour 1984 et 1985 de Statistique Canada.

1. Nom de la variable : Part de la somme de l'immigration et de l'émigration dans la population active

2. Symbole : IM

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1952-1985

5. Calculs et/ou sources :

Emigration :

En personnes. Période de 1952 à 1985.

Source : Données non publiées, Division de la démographie, Statistique Canada. Pour renseignements sur les méthodes d'estimation, consulter cat. 91-528.

Immigration :

En personnes. Période de 1952 à 1985.

Source : Statistiques historiques du Canada, 2e édition, série A350 pour 1952 à 1977. Annuaire du Canada 1985, tableau 2.45, p. 77 pour 1978 à 1981. Ministère des Communautés culturelles et de l'émigration, Bulletin statistique annuel, Vol. 12, 1985, tableau 2, p. 13. Pour 1985 à 1985, Emploi et Immigration Canada, Les réfugiés, perspectives pour 1987 et 1988, novembre 1987, p. 46.

1. Nom de la variable : Indice conjoncturel de fécondité

2. Symbole : FEC

3. Unités : Nombre moyen d'enfants pour 1000 femmes

4. Période : 1946-1985

5. Calculs et/ou sources : Statistiques historiques du Canada, 2e édition, série B12 pour 1946 à 1974.
Cat. 84-204, tableau 6 de Statistique Canada pour 1975 à 1985.

1. Nom de la variable : Part du travail

2. Symbole : S_L

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Calcul :

$$S_L = \frac{WL}{CT}$$

où WL = dépenses en travail;
= rémunération des salaires + soldes et indemnités des militaires.

Sources :

WL : Cat. 13-201, Statistique Canada, Tableau 4.

1. Nom de la variable : Part du capital

2. Symbole : S_K

3. Unités : Pourcentage

4. Période : 1953-1985

5. Calculs et/ou sources :

Calcul :

$$S_K = 1 - S_L$$